

섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성 및 수축균열저감특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Properties of Engineering and Shrinkage Cracking Reduction of Fiber Reinforced Concrete Using Recycled Fine Aggregate

(2009년 10월 5일 원고접수, 2009년 10월 15일 심사완료/ Received October 5, Accepted October 15, 2009)

김규용^{1)*}, 남정수¹⁾, 김무한¹⁾, 이도현²⁾, 송하영³⁾

¹⁾충남대학교 건축공학과, ²⁾한국토지주택공사 주택도시연구원, ³⁾한밭대학교 건축공학과

Gyu-Yong KIM^{1)*}, Jeong-Soo NAM¹⁾, Do-Heun LEE²⁾, Ha-Young SONG³⁾, Moo-Han KIM¹⁾

¹⁾Dept of Architecture Engineering, College of Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

²⁾Housing & Urban Research Institute, Korea National Land & Housing Corporation, Seongnam, 463-815, Korea

³⁾Dept of Architecture Engineering, College of Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 305-719, Korea

Abstract

Recently, the study is progressing actively about manufacture skill of concrete for promoted recycled aggregate and concrete made into recycled aggregate in the construction production field. But, application and study about recycled fine aggregate insufficient compared to recycled coarse aggregate.

So, in this study, it presents basic data for development of environmental load reduction fiber reinforcement recycled fine aggregate concrete by comparison and investigation about engineering properties and shrinkage cracking of fiber reinforcement recycled fine aggregate concrete for increasing shrinkage cracking reduction and long term stability of environmental load reduction concrete used recycled fine aggregate.

In the result of the study, compared to natural fine aggregate, a crack-extent increased by applying recycled fine aggregate, moreover, as a water cement ratio increased, the crack size increased, as well. In addition, it's shown that the specimen mixed with PVA and Nylon, among all kinds of fibers, showed the smallest crack size, so it's verified that the mix of fiber had an effect on decreasing crack-extent.

키워드 : 순환잔골재, 섬유보강, 압축강도, 수축, 균열

Keywords : Recycled Fine Aggregate, Fiber Reinforced Concrete, Compressive Strength, Shrinkage, Crack

1. 서론

최근 노후화된 건축구조물 해체 및 재건축시 발생하는 막대한 양의 건설폐기물에 의한 환경오염 문제 및 바다모래 및 부순모래의 채취 제한에 의한 잔골재 수급불균형 문제가 크게 대두되고 있으며, 이를 해결하기 위한 방안으로서 천연잔골재 자원을 대체할 수 있는 고품질 순환잔골재의 제조기술 개발 및 이를 활용한 순환잔골재 콘크리트의 건설생산현장 적용기술 개발이 활발하게 진행되고

있는 실정이다.

또한, 보통콘크리트에 비하여 인장강도 및 휨강도 등의 강도특성에서 우수한 성능을 나타내는 섬유보강 콘크리트를 활용하여 천연잔골재를 사용한 콘크리트에 비해 공학적 특성이 떨어지는 순환잔골재 콘크리트의 문제점을 보완하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 연구는 섬유종류가 셀룰로오스섬유 및 PP섬유 등으로 여러 가지 종류의 섬유에 대한 검토가 미흡한 실정이다.

한편, 건조수축에 의한 균열발생은 저하하는 것으로 나타나고 있어 콘크리트에 섬유를 보강함으로써 타설 초기의 소성수축 및 장기적인 건조수축 등에 의해 발생하는 균열피해를 저감시키기 위한 연구가 이루어지고 있다.

* Corresponding author
E-mail : gyuyongkim@cnu.ac.kr

Table 1 Mix proportions and test plan

Series	Specimen No. ¹⁾	W/C (%)	Sand type	Target slump (mm)	Target air content (%)	S/a (%)	Fibers type (Vol.%)	Mix proportions (kg/m ³)					Property
								W	C	S	G	Fiber	
I	50N-0	50	Sea	180±20	4.5±1.5	47	-	176	352	809	944	0.00	· Slump (cm) · Air content (%) · Compressive Strength (MPa) (Age 7, 28, 56days) · Bending Strength (MPa) (Age 28days) · stress-strain curves/ Elastic modulus (GPa) (Age 28days) · Crack area (mm ²) · Concrete exterior
	50R-0							176	352	727	944	0.00	
II	40R-PVA01	40	Recycled	180±20	4.5±1.5	49	PVA 0.1	170	425	708	904	1.40	
	50R-PVA01	50						176	352	727	944	1.40	
	60R-PVA01	60						183	305	767	938	1.40	
	50R-PVA01	50						176	352	727	944	1.40	
III	50R-Nyl01	50	Recycled	180±20	4.5±1.5	47	Nylon 0.1	176	352	727	944	1.15	
	50R-PP01							176	352	727	944	0.90	
	50R-Ard01							176	352	727	944	1.44	
	50R-Cb01							176	352	727	944	1.74	
	50R-PVA005							176	352	727	944	0.70	
	50R-PVA01							176	352	727	944	1.40	
IV	50R-PVA02	176	352	727	944	2.80							
	50R-Nyl005	176	352	727	944	0.58							
	50R-Nyl01	176	352	727	944	1.15							
	50R-Nyl01	176	352	727	944	1.15							

note 1) W/C ratio-sand type-fiber type

따라서 본 연구에서는 순환잔골재의 활용촉진 및 고부가가치화 기술개발을 도모하기 위하여 건식제조법에 의해 생산된 순환잔골재를 사용하여 천연잔골재를 사용한 콘크리트에 대비하여 여러 가지 섬유에 의한 섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 배합요인 및 섬유혼입조건에 따른 각종 굳지않은 성상 및 경화성상, 콘크리트의 수축균열특성에 대하여 실험·실증적으로 비교 및 분석함으로써 향후 순환잔골재를 활용한 섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성 및 수축균열특성 향상기술 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구에서는 Table 1과 같이 섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성 및 수축균열특성을 평가하기 위한 콘크리트의 배합은 일반강도 영역에서의 기존 건설생산현장용 콘크리트 배합을 참고하여 물-시멘트비 50%, 단위수량 176kg/m³, 잔골재율 47%를 기준으로 하였다. 잔골재 종류의 영향을 검토하기 위하여 천연모래 및 순환모래를 사용하였으며(시리즈 I), 물-시멘트비 40, 50 및 60%로 물-시멘트비의 변화(시리즈 II)에 따른 수준을 설정하였다.

Table 2 Physical properties of material

Materials	Physical properties
Cement	Specific gravity : 3.15g/cm ³ , Fineness : 3,770cm ² /g
Coarse aggregate	Specific gravity : 2.65g/cm ³ , Maximum size : 25 mm
Fine aggregate	N Sea sand, Specific gravity : 2.56g/cm ³ , F.M. : 2.84
	R Recycled sand, Specific gravity : 2.46g/cm ³ , F.M. : 3.03
Fiber	PVA, Tensile strength : 910MPa, Specific gravity : 1.30g/cm ³ , Length : 12mm
	Nylon, Tensile strength : 896MPa, Specific gravity : 1.15g/cm ³ , Length : 19mm
	PP, Tensile strength : 450MPa, Specific gravity : 0.90g/cm ³ , Length : 13mm
	Aramid, Tensile strength : 2,920MPa, Specific gravity : 1.44g/cm ³ , Length : 6mm
	Carbon, Tensile strength : 3,530MPa, Specific gravity : 1.74g/cm ³ , Length : 6mm

또한 섬유종류에 따른 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성을 검토하기 위하여 PVA, Nylon, PP, Aramid 및 Carbon섬유 등의 여러 가지 섬유(시리즈 III)를 사용하여 각

각의 측정항목에 따른 평가를 실시하였으며, 섬유혼입율이 미치는 영향에 대해서는 최근 사용이 증가하고 있는 PVA 및 Nylon섬유를 사용하여 혼입율(시리즈Ⅳ) 0.05~0.20%(PVA) 및 0.05~0.10(Nylon) 사이의 변화에 따른 요인을 설정하였다.

한편, 섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성 및 수축균열특성을 평가하기 위하여 배합요인 및 섬유혼입조건 등을 고려하여 콘크리트의 굳지않은 성상으로 슬럼프 및 공기량을 측정하였으며, 또한 경화성상으로는 콘크리트의 압축강도, 휨강도, 초음파속도, 반발경도 및 정탄성계수를 측정하였고, 수축균열특성으로 균열면적 및 균열외관형상을 평가함으로써 배합요인 및 섬유혼입조건이 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성 및 수축균열특성에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

2.2 사용재료 및 비빔방법

2.2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 재료는 Table 2에서 나타난 바와 같이 시멘트는 분말도 3,770cm²/g 및 비중 3.15의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은골재는 절건밀도 2.65g/cm³, 흡수율 1.39% 및 최대치수 25mm의 부순자갈을 사용하였다. 또한 잔골재는 절건밀도 2.56g/cm³, 흡수율 1.42%의 천연모래와 절건밀도 2.46g/cm³, 흡수율 4.90%의 순환모래를 사용하였으며, 섬유는 총 5가지 종류로서 PVA, Nylon, PP, Aramid 및 Carbon섬유를 사용하였다.

2.2.2 비빔방법

콘크리트의 비빔은 100 l 강제식 팬타입 믹서를 사용하여, 섬유무혼입 콘크리트의 경우, 시멘트와 잔골재를 투입하여 30초간 건비빔한 후 물을 투입하여 60초간 비빔을 실시하고, 감수제를 첨가하여 다시 60초간 비빔 후, 굵은골재를 투입하고 60초간 비빔을 실시하여 총 210초가 소요되었다. 또한 섬유혼입 콘크리트 배합에서는 섬유투입 후 다시 120초간 비빔을 실시하는 과정을 추가하여 콘크리트 비빔을 실시하였다.

2.2.3 시험방법

본 연구의 콘크리트의 각종 성능평가는 KS규준에 따라 실시하였으며, 특히 균열면적의 평가는 Fig. 1과 같이 판상-링형의 몰드를 제작하여 내부 링 구속에 의해 균열발생을 균등하게 유도하는 조건을 상정하고 절건기를 사용하여

35°C의 강제건조환경을 조성하여 균열이 유발되도록 하였으며, 균열의 평가는 각 시험체를 48시간동안 소정의 환경에서 양생한 후 균열면적 및 형상을 관찰하여 평가하였다.

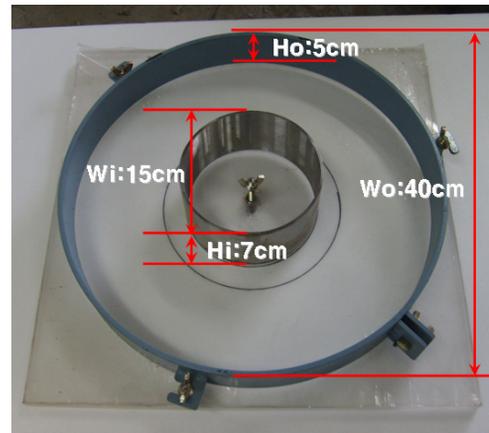


Fig. 1 Test mold of shrinkage crack

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 성상 검토 및 분석

3.1.1 슬럼프

Fig. 2는 잔골재 및 W/C비에 따른 슬럼프와 고성능 AE감수제 첨가율의 관계를 나타낸 것으로 먼저, 잔골재 종류에 있어서 순환잔골재 사용 콘크리트의 유동성이 다소 저하하는 것으로 나타났으나, 고성능 AE감수제 첨가율 0.2%의 범위에서 모두 목표슬럼프를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 W/C비가 감소할수록 유동성이 저하하는 것으로 나타났다.

한편, Fig. 3은 섬유종류에 따른 슬럼프 측정결과 및 슬럼프와 고성능 AE감수제 첨가율과의 관계를 나타낸 것으로 고성능 AE감수제 첨가율은 아라미드섬유를 0.1% 혼입한 경우가 가장 높은 것으로 나타났으며, 아라미드섬유를 제외하고 모두 고성능 AE감수제 첨가율 0.5%이하의 범위에서 목표슬럼프를 만족하는 것으로 나타났다.

또한 Fig. 4는 섬유혼입율에 따른 슬럼프 측정결과 및 슬럼프와 고성능 AE감수제 첨가율과의 관계를 나타낸 것으로 PVA 및 Nylon섬유의 혼입율이 증가할수록 고성능 AE감수제의 첨가율이 증가하는 것으로 나타났다.

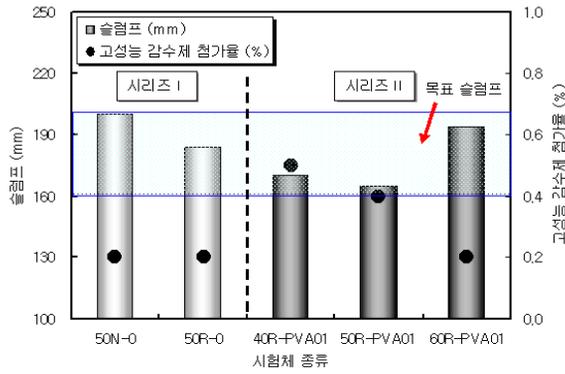


Fig. 2 Test results of slump (series I, II)

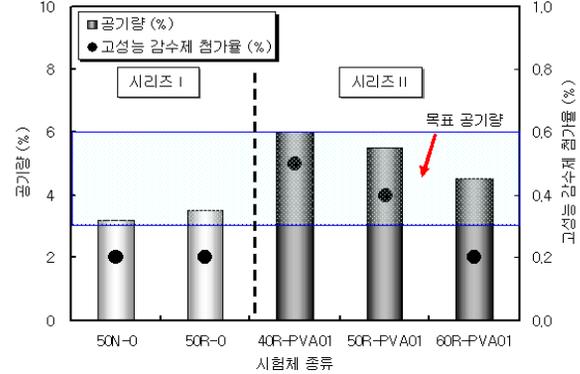


Fig. 5 Test results of air content (series I, II)

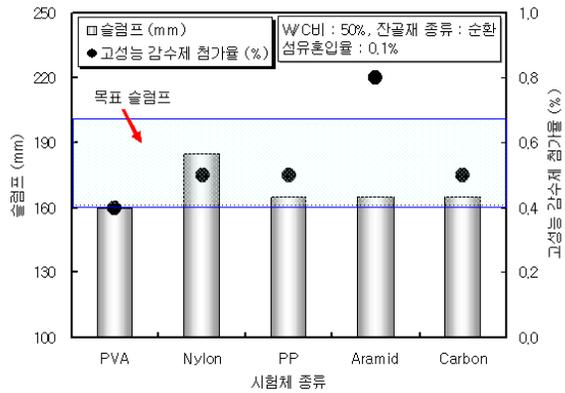


Fig. 3 Test results of slump (series III)

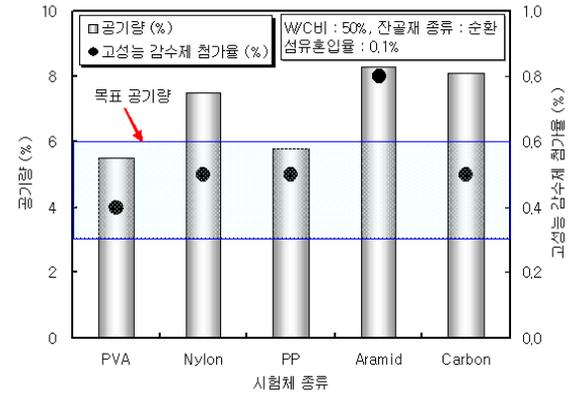


Fig. 6 Test results of content (series III)

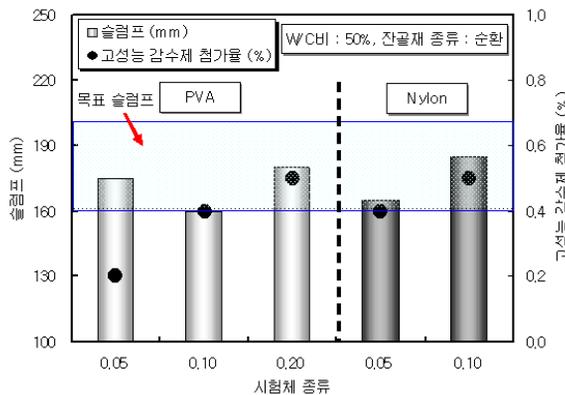


Fig. 4 Test results of slump (series IV)

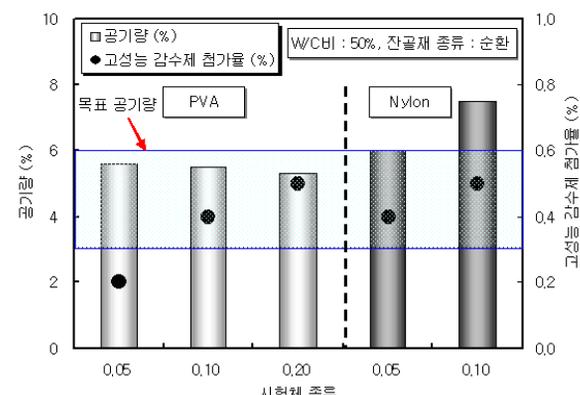


Fig. 7 Test results of content (series IV)

3.1.2 공기량

Fig. 5는 잔골재 종류 및 W/C비에 따른 공기량과 첨가된 고성능 AE감수제와의 관계를 나타낸 것으로 동일 고성능감수제 첨가율 범위에서 순환잔골재를 사용한 콘크리트의 공기량이 다소 높게 나타났다. 또한, W/C비의 변화에 따른 평가결과, W/C가 감소할수록 목표공기량을 만족시키기 위한 고성능 AE감수제의 첨가율이 증가하는 것으로 나타났다.

한편, Fig. 6 및 Fig. 7은 섬유종류 및 혼입율에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것으로 섬유종류에 관계없이 고성능 AE감수제의 첨가율이 증가할수록 공기량은 증가하는 것으로 나타났으며, 섬유혼입율이 증가할수록 목표공기량을 만족시키기 위한 고성능감수제의 첨가율도 증가하는 경향으로 나타났다.

3.2 경화성상 검토 및 분석

3.2.1 압축강도

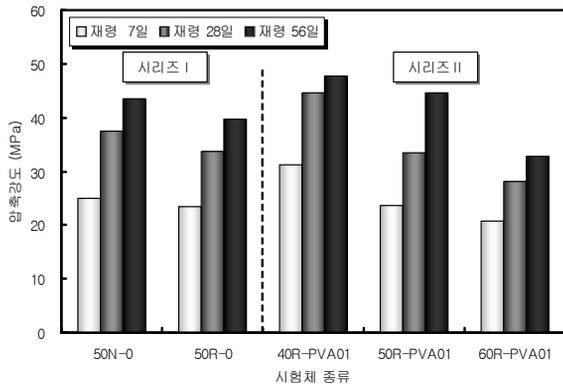


Fig. 8 Test results of compressive strength (series I, II)

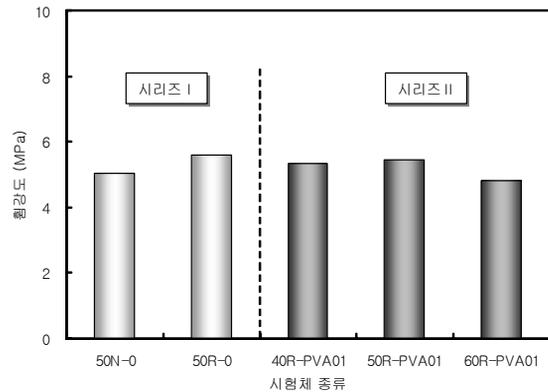


Fig. 11 Test results of bending strength (series I, II)

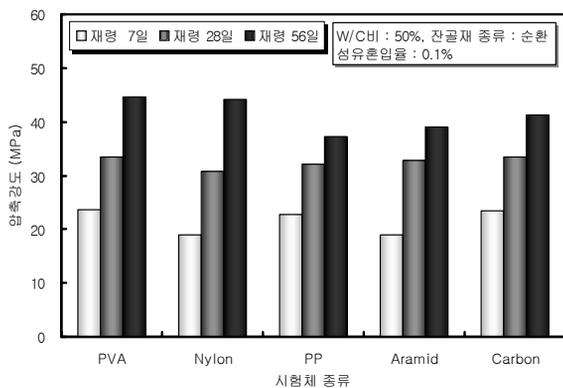


Fig. 9 Test results of compressive strength (series III)

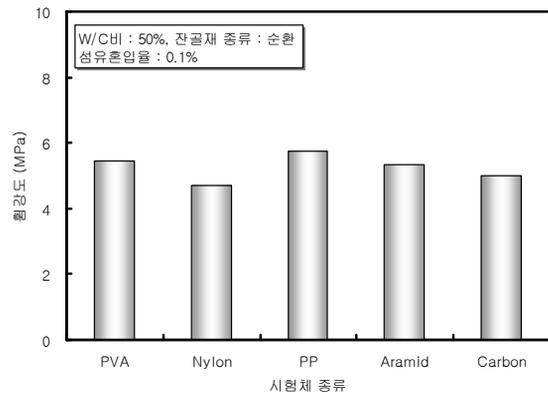


Fig. 12 Test results of bending strength (series III)

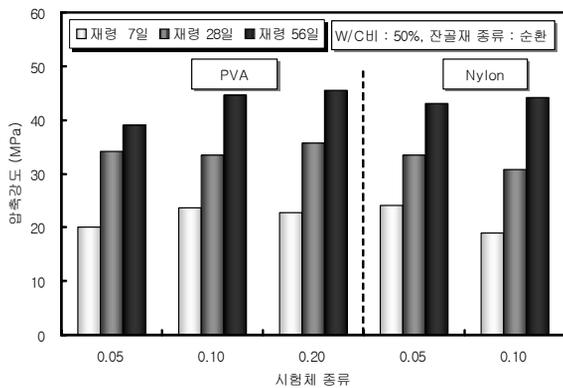


Fig. 10 Test results of compressive strength (series IV)

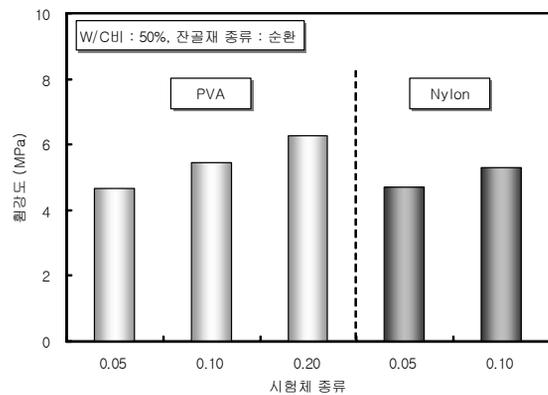


Fig. 13 Test results of bending strength (series IV)

Fig. 8은 잔골재 종류 및 W/C비에 따른 재령 7, 28 및 56일에서의 재령별 압축강도를 나타낸 것으로 천연잔골재를 사용한 시험체에 비하여 순환잔골재를 사용한 시험체의 압축강도가 낮은 것으로 나타났으며, W/C비가 증가할수록 재령에 관계없이 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다.

한편, Fig. 9 및 Fig. 10은 재령별 섬유종류 및 혼입율에 따른 순환잔골재 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것으로 섬유종류가 압축강도에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났으며, 또한 섬유혼입율이 증가할수록 재령 56일까지 압축강도가 다소 증가하는 경향으로 나타났으나 유의할만한 경향은 보이지 않았다.

3.2.2 휨강도

잔골재 종류 및 W/C비에 따른 콘크리트의 휨강도 측정 결과, Fig. 11에서 나타난 바와 같이 본 연구의 범위에서 잔골재 종류 및 W/C비가 콘크리트의 휨강도에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다.

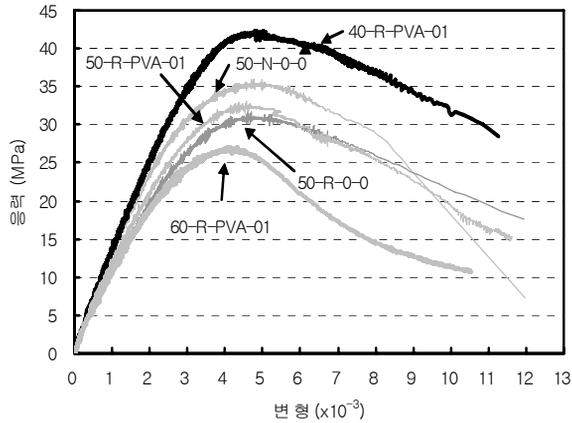


Fig. 15 Test results of stress-strain curves (series I, II)

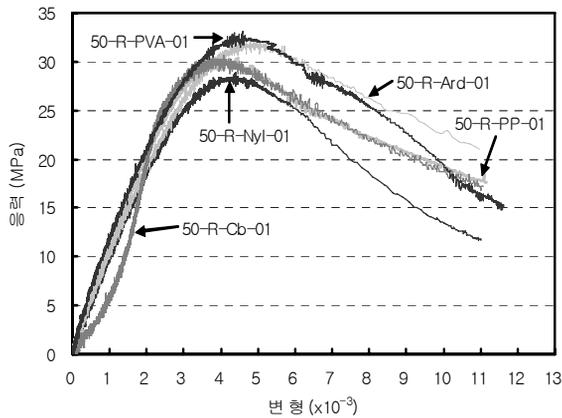


Fig. 14 Test results of stress-strain curves (series III)

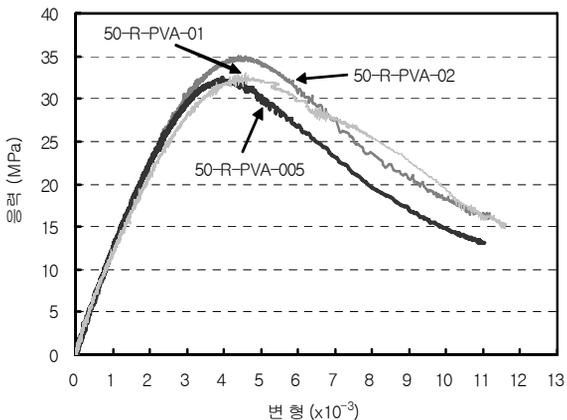


Fig. 16 Test results of stress-strain curves (series IV)

한편, Fig. 12 및 Fig. 13은 섬유종류 및 혼입율에 따른 순환잔골재 콘크리트의 휨강도를 나타낸 것으로 PVA 및 PP 섬유를 혼입한 경우 다소 높은 휨강도성상을 발현하였으며, PVA 및 Nylon섬유를 혼입한 경우 섬유의 혼입율이 증가할수록 휨강도가 증가하는 경향을 나타냈다.

3.2.3 응력-변형곡선 및 정탄성계수

Fig. 14는 재령 28일에서의 잔골재 종류 및 W/C비에 따른 정탄성계수를 나타낸 것으로 잔골재 종류에 있어서 천연잔골재를 사용한 콘크리트에 비하여 순환잔골재를 사용한 콘크리트의 정탄성계수는 감소하는 것으로 나타났으며, 또한 W/C비가 증가할수록 정탄성계수가 감소하는 경향으로 나타났다.

또한, 섬유종류에 따른 정탄성계수 측정결과, Fig. 15에서 나타난 바와 같이 PVA섬유를 혼입한 콘크리트의 정탄성계수가 가장 큰 것으로 나타났으며, 섬유혼입율에 따른 섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 정탄성계수는 Fig. 16에서 보는 바와 같이 PVA섬유의 경우 섬유혼입율에 관계없이 유사한 수준으로 나타났으며, Nylon섬유는 섬유혼입율 0.1%에 비하여 섬유혼입율 0.05%의 시험체가 큰 것으로 나타났다.

3.3 수축균열저감특성 검토 및 분석

Fig. 17 및 Table 3은 잔골재 종류 및 W/C비에 따른 콘크리트의 균열면적 및 균열외관형상을 나타낸 것으로 재령에 관계없이 천연잔골재를 사용한 콘크리트에 비하여 순환잔골재를 사용한 콘크리트의 균열면적이 증가하는 것으로 나타났으며, W/C비가 증가할수록 균열면적도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 18 및 Table 4는 섬유종류에 따른 균열면적 및 균열외관형상을 나타낸 것으로 섬유혼입율 0.1%의 범위에서 PVA 및 Nylon섬유를 혼입한 시험체의 균열면적이 가장 적은 것으로 나타났으며, PP섬유를 혼입한 시험체의 경우 균열저감능이 가장 낮은 경향으로 나타났다.

한편, 섬유혼입율에 따른 균열면적 및 균열외관형상의 경우, Fig. 19 및 Table 5에서 나타난 바와 같이 PVA 및 Nylon섬유의 종류에 관계없이 각각 섬유혼입율이 증가할수록 균열면적이 감소하는 것으로 나타나 섬유혼입에 의한 균열저감능을 확인할 수 있었다.

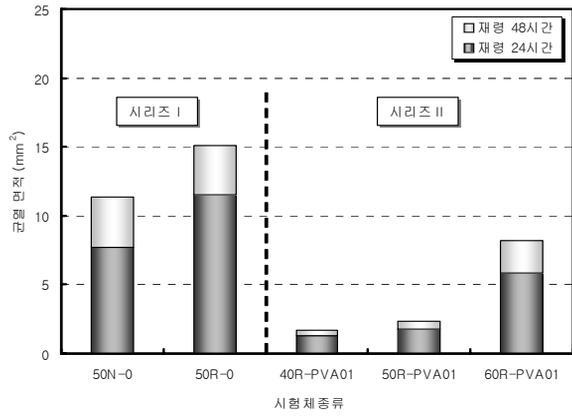


Fig. 17 Test results of crack area (series I, II)

Table 3 Concrete exterior according to cracking (series I, II)

Specimen No.	50N-0	50R-0	-
Concrete exterior			-
Specimen No.	40R-PVA01	50R-PVA01	60R-PVA01
Concrete exterior			

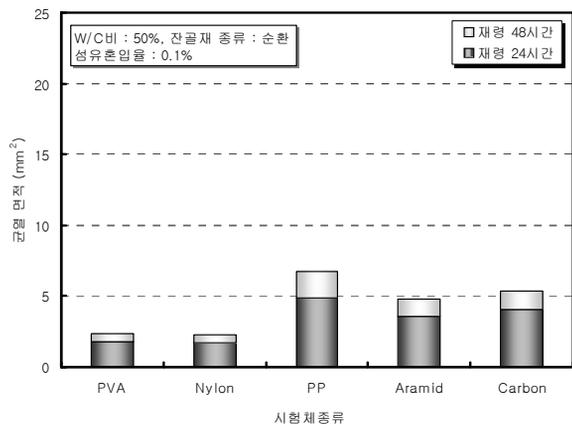


Fig. 18 Test results of crack area (series III)

4. 결론

섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성 및 수축 균열특성을 실험·실증적으로 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Table 4 Concrete exterior according to cracking (series III)

Specimen No.	50R-PVA01	50R-Nyl01	50R-PP01
Concrete exterior			
Specimen No.	50R-Ard01	50R-Cb01	-
Concrete exterior			-

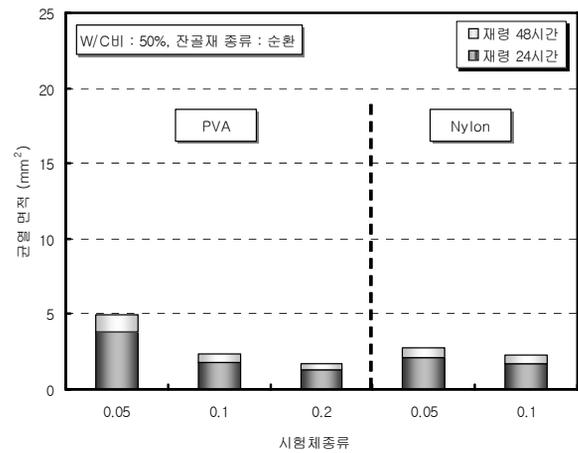


Fig. 19 Test results of crack area (series IV)

Table 5 Concrete exterior according to cracking (series IV)

Specimen No.	50R-PVA005	50R-PVA01	50R-PVA02
Concrete exterior			
Specimen No.	50R-Nyl005	50R-Nyl01	-
Concrete exterior			-

1) W/C비가 감소할수록 PVA 및 Nylon섬유의 혼입율이 증가할수록 목표슬럼프 및 공기량을 만족시키기 위한 고성능 AE감수제의 첨가율이 증가하는 것으로 나타났으며,

섬유종류에 관계없이 섬유혼입율이 증가할수록 고성능감수제의 첨가율이 증가할수록 공기량은 증가하는 것으로 나타났다.

2) 천연잔골재를 사용한 시험체에 비하여 순환잔골재를 사용한 시험체의 압축강도가 낮은 것으로 나타났으며, W/C비가 증가할수록 재령에 관계없이 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다. 또한 섬유종류 및 혼입율은 압축강도에 큰 영향을 미치지 않았으며, 섬유혼입율이 증가할수록 휨강도가 향상되는 경향은 확인할 수 있었다.

3) 천연잔골재에 비해 순환잔골재의 사용으로 콘크리트의 균열면적이 증가하였으며, W/C비가 증가할수록 균열면적도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 PVA 및 Nylon섬유를 혼입한 시험체의 균열면적이 가장 적은 것으로 나타났으며, 섬유혼입율이 증가할수록 균열면적이 감소하는 것으로 나타나 섬유혼입에 의한 균열저감성능을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 05 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 05건설핵심D07)에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 논문에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21사업의 지원비를 받았습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 김무한, 건설산업 폐기물의 리사이클링 시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구, 건설교통부, 1996
- 2) 최민수, 건설폐기물의 재활용 촉진을 위한 법적 정비 방안, 한국건설산업연구원, 2002. 07
- 3) 건설교통부, 순환골재 품질기준안, 2005. 03

- 4) 대한주택공사, 국내 재생(순환)골재의 생산 및 활용현황, 2004. 07
- 5) 김규용, 최형길, 남정수, 송하영, 이도현, 건설구조물의 장수명화와 건설폐기물의 유효이용기술, 한국자원리사이클링학회, Vol. 18, No. 3, pp.11-19, 2009
- 6) 柳橋邦生, 高品質再生細骨材の製造技術に關する研究, 콘크리트工學年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1217-1222, 2003
- 7) 清水建設, シミズコンクリート資源循環システム, 2004
- 8) C. S. Poon et al. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete, Cement and Concrete Research, Vol.34, pp.31-36, 2004
- 9) Francois Buyle-Bodin et al. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete, Cement and Concrete Research, Vol.25, pp.223-232, 2003
- 10) S. Nagataki et al., Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Research, Vol.34, pp.965-971, 2004
- 11) Andrzej Ajdukiewicz et al. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC, Cement and Concrete Research, Vol.32, pp. 269-279, 2002
- 12) H. R. Shah, J. Weiss, “quantifying shrinkage cracking in fiber reinforced concrete Using the ring test”, RILEM, pp. 887-899, 2006

섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성 및 수축균열특성에 관한 실험적 연구

최근 국내에서는 건설생산현장에서 순환골재 및 이를 활용한 순환골재 콘크리트의 사용을 적극적으로 도모하기 위하여 순환골재 콘크리트의 제조기술에 관한 다양한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있으나 순환골재 골재에 비하여 순환잔골재에 관한 적용 및 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 순환잔골재를 사용한 환경부하저감형 콘크리트의 공학적 성능 및 수축균열저감 성능 향상을 위한 섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 공학적 특성 및 수축균열특성에 관하여 실험·실증적으로 비교·검토함으로써 향후 환경부하 저감형 섬유보강 순환잔골재 콘크리트의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

그 결과, 천연잔골재에 비해 순환잔골재의 사용으로 콘크리트의 균열면적이 증가하였으며, W/C비가 증가할수록 균열면적도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 섬유종류중 PVA 및 Nylon섬유를 혼입한 시험체의 균열면적이 가장 적은 것으로 나타났으며, 섬유혼입율이 증가할수록 균열면적이 감소하는 것으로 나타나 섬유혼입에 의한 균열저감성능을 확인할 수 있었다.